

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ПРИНТОВАННЫХ ВРЕМЕННЫХ ОРТОПЕДИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ ПРИ ДЛИТЕЛЬНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ

С. В. Просскокова, А. М. Еникеев [✉], А. Е. Пирогов, Р. М. Кулиев

Институт стоматологии, Российский национальный исследовательский медицинский университет имени Н. И. Пирогова, Москва, Россия

Для осуществления качественного лечения в ортопедической стоматологии применяют несъемные временные конструкции. Существует условное разделение подходов в протезировании на традиционный и цифровой. Эти подходы подразумевают использование как общих материалов для протезирования, так и уникальных вариантов. При традиционном подходе качество исполнения ортопедического стоматологического лечения зависит от мануального навыка исполнителя (зубного техника). В отличие от традиционного подхода, цифровой использует широкий набор библиотек с готовыми шаблонами под различные варианты эстетических и функциональных характеристик зубочелюстной системы. Данный факт позволяет лечащему врачу обходиться без посредника для изготовления зуботехнических протезов, если позволяет материально-техническая база. Использование 3D-печати в стоматологии появилось относительно недавно. С нашей точки зрения, активное применение фотополимерных 3D-смол может стать перспективным вариантом по экономическим и прочностным характеристикам.

Ключевые слова: 3D-печать, фотополимеры, цифровая стоматология, временное протезирование

Вклад авторов: С. В. Просскокова — руководство проектом, редактирование рукописи; А. М. Еникеев — поиск и анализ литературы, написание рукописи; А. Е. Пирогов, Р. М. Кулиев — редактирование рукописи.

✉ **Для корреспонденции:** Амир Маратович Еникеев
ул. Островитянова, д. 1, с. 9, г. Москва, 117997, Россия; amir.stomat.art@gmail.com

Статья получена: 16.07.2024 **Статья принята к печати:** 03.08.2024 **Опубликована онлайн:** 30.08.2024

DOI: 10.24075/vrgmu.2024.037

PROSPECTS FOR THE USE OF LONG-LIVING PRINTED TEMPORARY ORTHOPEDIC STRUCTURES

Proskokova SV, Enikeev AM [✉], Pirogov AE, Kuliev RM

Pirogov Russian National Research Medical University, Moscow, Russia

The non-removable temporary structures are used in orthopedic dentistry to provide high-quality treatment. The approaches in prosthetics are conditionally divided into conventional and digital. These approaches imply the use of both common materials for prosthetics and unique options. When the conventional approach is used, the quality of orthopedic dental treatment depends on the manual skill of the provider (dental technician). Unlike the conventional approach, the digital one uses a wide range of libraries with ready-made templates for various options for the dentoalveolar system aesthetic and functional characteristics. This fact allows the attending physician to do without any intermediary for the manufacture of dental prostheses, if the material and technical resources permit. The use of 3D printing in dentistry has only recently begun. From our point of view, the active use of photopolymer 3D resins can become a promising option in terms of economic and strength characteristics.

Keywords: 3D printing, photopolymers, digital dentistry, temporary prosthetics

Author contribution: Proskokova SV — project management, manuscript editing; Enikeev AM — literature search and analysis, manuscript writing; Pirogov AE, Kuliev RM — manuscript editing.

✉ **Correspondence should be addressed:** Amir M. Enikeev
Ostrovityanova, 1, str. 9, Moscow, 117997, Russia; amir.stomat.art@gmail.com

Received: 16.07.2024 **Accepted:** 03.08.2024 **Published online:** 30.08.2024

DOI: 10.24075/brsmu.2024.037

Актуальной проблемой ортопедической стоматологии является лечение пациентов с частичной потерей зубов [1, 2]. Использование временных несъемных конструкций для протезирования показало себя не только как важный, но и как безальтернативный этап эффективного и качественного лечения. В период от начала препарирования зубов до постоянной фиксации несъемных конструкций необходимо изготовление и применение временных протезов, обладающих высокой механической прочностью и защищающих препарированные зубы от бактериальной инфекции и различных видов раздражителей: температурных и химических. Временные протезы обеспечивают безопасность пульпы, защиту краевого пародонта, предсказуемое формирование маргинальной десны, отсутствие отрицательного влияния на элементы височно-нижнечелюстного сустава (ВНЧС) и жевательной мускулатуры. Кроме того, временные конструкции помогают сохранить или воссоздать утраченную окклюзию и эстетику. На данный момент в арсенал стоматологов-ортопедов входит большое количество материалов, используемых для временных конструкций.

Цель данного исследования — представить основные методики временного протезирования и преимущества конструкций, изготовленных путем 3D-печати.

Поиск научных публикаций по рассматриваемой теме проведен в каталоге научных электронных библиотек (<https://www.elibrary.ru>, <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov>) за 2017–2024 гг.

При поисковом словосочетании «3D-печать» с фильтром по стоматологии по данным библиотеки Elibrary найдено 205 результатов (195 из которых за 2017–2024 гг.), при поисковом сочетании «временные коронки» — 310 результатов (150 из которых за 2017–2024 гг.), при поисковом сочетании «3d printed crowns» в Pubmed — 389 результатов (362 из которых за 2017–2024 г.), при поисковом сочетании «Temporary crowns» — 1716 результатов (344 из которых за 2017–2024 г.) (рис. 1).

При помощи ручной сортировки были отобраны 153 публикации.

Проведя расширенный поиск по подготовленной подборке, удалось получить следующую информацию по типу публикаций: диссертаций — 2 (1,3%); книг — 15 (9,8%);

материалов конференций — 29 (18,9%); патентов — 11 (7,1%) (рис. 2).

Традиционный подход

Традиционный подход подразумевает использование акриловых пластмасс и композитов различных типов полимеризации.

Акриловые пластмассы с основой в виде метилметакрилата чаще применяют при лабораторном изготовлении временных конструкций. Коронки и мостовидные протезы из данного типа пластмасс характеризуются высокой прочностью и стабильностью цвета, а также могут применяться для длительного периода восстановления.

Этилметакрилат применяют для временного протезирования с непродолжительной экспозицией в полости рта. Преимущество этого материала заключается в меньшем выделении тепла и сниженном проценте усадки.

Большой популярностью пользуются материалы для временного протезирования на основе бис-акрилата. Это двухкомпонентный материал, основанный на многофункциональных акриловых эфирах, производных метилметакрилата. Материалы на основе бис-акрилата выпускают в основном в виде картриджей для диспенсерных систем замешивания 4 : 1 или 1 : 1, что позволяет быстро и легко произвести временные конструкции при наличии силиконового ключа. Недостаток таких материалов — снижение прочностных характеристик и необходимость изготовления силиконового ключа.

Композитные материалы при холодном типе полимеризации так же производятся в виде картриджей для диспенсерных систем замешивания 4 : 1 или в виде шприца как текучие варианты пломбировочных композитов. Данные материалы характеризуются положительными свойствами современных стоматологических материалов: легко вводятся в полость благодаря своей консистенции [3].

Цифровой подход

Если говорить о цифровом подходе, одним из вариантов для временного протезирования являются фрезерованные конструкции с применением CAD/CAM-технологии.

CAD (Computer Aided Design) — это компьютерный дизайн, а именно создание виртуальной конструкции. CAM (Computer Aided Manufacturing) — производство под управлением компьютера. CAD/CAM является современной технологией производства каркасов или полноанатомических зубных протезов с помощью компьютерного моделирования и фрезерования на станках с числовым программным управлением (ЧПУ).

Основным материалом для фрезерования временных конструкций является пластмасса полиметилметакрилат (PMMA). PMMA используют как для краткосрочных реставраций, так и для конструкций с длительным сроком эксплуатации. Данный материал гибок и весьма прочен. Недостатком является затрудненное получение достаточной силы адгезии с отпрепарированной культей зуба.

Следующий этап развития цифрового подхода во временном протезировании — появление технологии 3D-печати. На данный момент она позволяет изготовить полные съемные протезы, коронки, супраструктуры для имплантатов, а также навигационные шаблоны. Полученные результаты прототипирования превосходят возможности эквивалентного использования материалов традиционного подхода [4].

3D-печать на основе фотополимерных смол относится к широкой категории световой полимеризации в ваннах. Концепция основана на способности светочувствительных смол в жидкой фазе застывать под воздействием световой энергии.

На данный момент имеется несколько вариантов 3D-печати — SLA, DLP, LCD. Технология SLA (laser stereolithography, stereolithography apparatus) основывается на прохождении ультрафиолетового лазерного пучка в ванну с фотополимерной смолой, что приводит к полимеризации в определенной точке. Далее происходит смещение рабочей поверхности вниз на 0,025–0,300 мм и лазер приводит к полимеризации следующего слоя. Процесс повторяется до завершения построения модели [5].

DLP — цифровая светодиодная проекция. Излучение цифрового проектора избирательно воздействует через область печати на жидкую фотополимерную смолу, находящуюся в специальной емкости. Происходит послойное затвердевание смолы в местах воздействия и постепенное построение объемной модели. Отличия этой

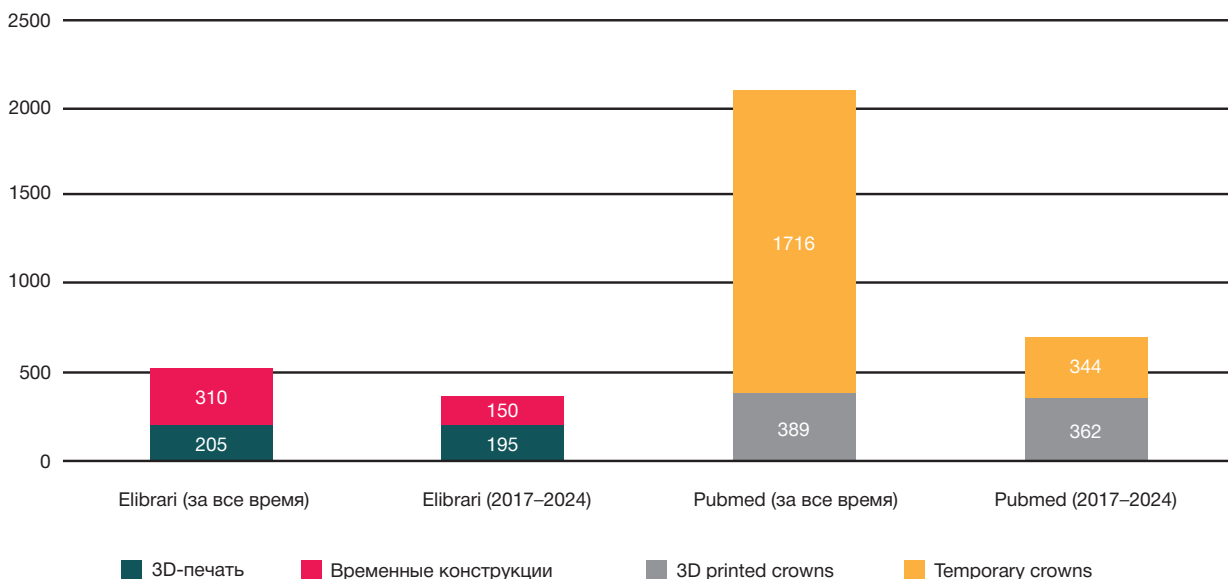


Рис. 1. Результаты при поисковом сочетании

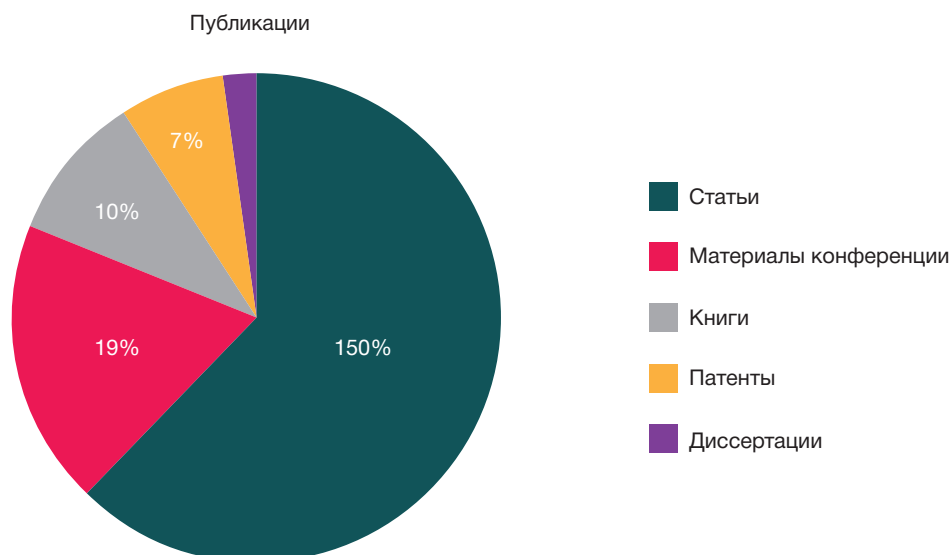


Рис. 2. Тип публикации

технологии — относительно небольшая рабочая площадь, высокая скорость печати, большой выбор совместимых расходных материалов.

LCD-технология — самая молодая среди фотополимерных принтеров. Изначально LCD появилась как более доступный аналог DLP-технологии, так как принципы их действия похожи. В LCD применяются ультрафиолетовые светодиоды, которые светят через ЖК-экран для отверждения фотополимерных смол. Хотя ЖК-экран также создает целые слои за то же время, что и DLP-3D-принтеры, качество слоев зависит от разрешения экрана. Чем выше разрешение ЖК-экрана, тем выше качество печати.

Для медицинских целей широко используют полимерные материалы. Помимо общих технических требований (температура плавления, прочность, износостойкость и т. д.) к полимерным материалам медицинского назначения, в особенности стоматологического, предъявляются дополнительные санитарно-гигиенические требования: минимальное взаимодействие с биологически активными средами, отсутствие токсичных свойств, низкая растворимость, минимальные сорбирующие свойства.

В состав фотополимерных смол для временного протезирования обычно входят следующие компоненты.

Мономерная основа. Обычно используют мономеры на основе метакрилата, такие как Bis-GMA (бисфенол-А-глицидилметакрилат) или UDMA (уретандиметакрилат). Эти мономеры обеспечивают высокую прочность и стабильность смолы.

Фотоинициаторы — вещества, запускающие реакцию полимеризации за счет света. Наиболее распространенными фотоинициаторами являются camphorquinone (CQ), benzophenone (BP) и 4-methylaminobenzoic acid phenylpropionate (MABBP). Они поглощают свет определенной длины волны и генерируют свободные радикалы, которые начинают процесс полимеризации.

Наполнители — это частицы, добавляемые в смолу для улучшения ее свойств. Они могут быть минеральными (например, кремний диоксид), органическими (например, барий сульфат) или синтетическими (например, микростекло).

Отвердитель — это вещество, которое ускоряет процесс полимеризации. Обычно используют пероксид бензоила или другие органические пероксиды.

Пигменты — это вещества, которые придают смоле определенный цвет. Они могут быть органическими или неорганическими.

Добавки — это дополнительные вещества, которые могут быть добавлены в смолу для улучшения ее свойств. Например, антиоксиданты для предотвращения окисления, пластификаторы для повышения гибкости или увлажняющие агенты для предотвращения дегидратации.

Стоматология широко признана областью, которая может извлечь большую пользу из технологий 3D-печати. В отечественной литературе существует значительное количество обзорных публикаций, посвященных применению 3D-печати. Однако работ, детально рассматривающих параметры, характеристики и свойства данных материалов, не много [6, 7].

При обзоре иностранной литературы данных становится значительно больше. Некоторые исследования утверждают, что временные полимерные материалы с 3D-печатью обладают более низкой прочностью на изгиб (FS) по сравнению с фрезерованными временными реставрациями [8, 9]. Однако временные полимерные материалы, напечатанные на 3D-принтере, обладают более высокой прочностью на изгиб по сравнению с временными конструкциями, изготовленными из традиционных материалов [10, 11]. Многочисленные исследования, в которых сравнивали износостойкость материалов, показали меньшую потерю объема при износе и более гладкие поверхности у напечатанных 3D-принтером образцов [12]. Во время печати принтеры имеют возможность наносить слои размером до десятой доли миллиметра, в результате чего получается изделие с более гладкой поверхностью и сокращается время полировки по сравнению с фрезерованием [13].

Более того, материалы, напечатанные на 3D-принтере, как правило, имеют более высокий модуль упругости (EM), чем обычные, но он не выше фрезерованного. Что касается шероховатости поверхности, то образцы, напечатанные на 3D-принтере, имеют более гладкую поверхность, чем фрезерованные и обычные временные материалы.

Таким образом, данные исследований физико-механических свойств говорят о том, что в сравнении с традиционными материалами 3D-смолы показывают лучшие результаты. Фрезерованные конструкции являются фаворитами, за исключением гладкости протезов.

Однако не стоит забывать об экономическом аспекте. В ряде работ затронута экономическая целесообразность печати с использованием фотополимерных смол [14, 15]. Методика 3D-печати экономична, возможность изготовления только необходимой конструкции без применения гипсовых моделей уменьшает время производства. В процессе печати затрачивается только необходимый для изготовления конструкции объем фотополимера, в то время как при фрезеровке около 30% от объема блоков является издержкой. Цифровой подход и наличие 3D-принтера позволяют лечащему врачу выполнить все необходимые для лечения процессы на базе одной клиники без привлечения сторонних зуботехнических лабораторий и зубных техников.

В нашей стране в основном используют фотополимерные смолы отечественного производства, которые обходятся значительно дешевле, чем иностранные аналоги. Стоит отметить, что смолы, производимые в России, не уступают по своим свойствам импортным материалам, а также экспортируются в другие страны для стоматологического применения. В противоположность этому, на рынке CAD/CAM-заготовок для временного протезирования практически полностью доминируют производители

из Китая, за счет чего стоимость финального изделия становится дороже.

Процесс повышения прочности на изгиб печатных полимеров все еще продолжается. Существуют модификации фотополимерных смол, в которых добавлены наночастицы оксида циркония (ZrO₂) в различных концентрациях. Были обнаружены превосходные механические свойства по сравнению со стандартной печатной смолой, что увеличивает возможный срок эксплуатации данных конструкций. Такие модификации уже существуют на рынке, в том числе и от отечественных производителей смол для 3D-печати.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Применение дентальных 3D-смол является перспективным направлением для временного протезирования, в том числе для длительной эксплуатации. Механические свойства данных материалов не уступают конкурентам. Стоимость конструкции дешевле, чем аналогичная с применением CAD/CAM-технологий. Это открывает двери для использования эффективных и доступных вариантов протезирования.

Литература

1. Апресян С. В. Оптимизация временных зубных протезов из полиуретана [диссертация]. М., 2012.
2. Бабунашвили Г. Б. Клинико-лабораторное обоснование применения материала «Акродент» для временных зубных протезов [диссертация]. М., 2007.
3. Луцкая И. К., Новак Н. В., Ершов-Павлов П. Е. Применение временных коронок на этапе протезирования зубов керамическими конструкциями. Современная стоматология. 2017; 4 (69): 51–54.
4. Юмашев А. В., Михайлова М. В., Кудерова И. Г., Кристалль Е. А. Варианты использования 3D сканирования в ортопедической стоматологии. Вестник новых медицинских технологий. Электронное издание. 2015; 1: 2–6.
5. Евсеев Е. Н. Обзор технологий 3D-печати. Science Time. 2017; 10 (46): 11–15.
6. Жулев Е. Н. Сравнительная оценка размерной точности искусственных коронок, изготовленных с помощью CAD/CAM системы и 3d ПРИНТЕРА по технологии. Вестник новых медицинских технологий. Электронное издание. 2020; 3: 40–45.
7. Шнайдер С. Д., Нуриева Н. С., Юрасов А. Д. Исследования прочности и упругости на трехточечный изгиб материалов временных конструкций прямым способом и коронок методом 3d-печати. Стоматологическая весна в Белгороде — 2022: Сборник трудов Международной научно-практической конференции в рамках международного стоматологического фестиваля «Площадка безопасности стоматологического пациента», посвященного 100-летию Московского государственного медико-стоматологического университета им. А. И. Евдокимова, Белгород, 09 июня 2022 года. Белгород: Белгородский государственный национальный исследовательский университет, 2022; с. 260–262.
8. Tasin S, Ismatullaev A. Comparative evaluation of the effect of thermocycling on the mechanical properties of conventionally polymerized, CAD-CAM milled, and 3D-printed interim materials. J Prosthet Dent. 2022; 127: 173.e1–173.e8. PubMed PMID: 34756771.
9. Mayer J, Stawarczyk B, Vogt K, Hickel R, Edelhoff D, Reymus M. Influence of cleaning methods after 3D printing on two-body wear and fracture load of resin-based temporary crown and bridge material. Clin Oral Investig. 2021; 25 (10): 5987–96. PubMed PMID: 33811531.
10. Albahri R, Yoon HI, Lee JD, Yoon S, Lee SJ. Shear bond strength of provisional repair materials bonded to 3D printed resin. J Dent Sci. 2021; 16 (1): 261–7. PubMed PMID: 33384807.
11. Alzahrani SJ, Hajjaj MS, Azhari AA, Ahmed WM, Yeslam HE, Carvalho RM. Mechanical properties of three-dimensional printed provisional resin materials for crown and fixed dental prosthesis: a systematic review. Bioengineering. 2023; 10 (6): 663. PubMed PMID: 37370594.
12. Manjunath KS, Sridhar K, Gopinath V, Sankar K, Sundaram A, Gupta N, et al. Facile manufacturing of fused-deposition modeled composite scaffolds for tissue engineering-an embedding model with plasticity for incorporation of additives. Biomed Mater. 2020; 16 (1): 015028. PubMed PMID: 33331292.
13. Myagmar G, Lee JH, Ahn JS, Yeo IL, Yoon HI, Han JS. Wear of 3D printed and CAD/CAM milled interim resin materials after chewing simulation. J Adv Prosthodont. 2021; 13 (3): 144–51. PMID: 34234924.
14. Tahayeri A, Morgan M, Fugolin AP, Bompolaki D, Athirasala A, Pfeifer CS, et al. 3D printed versus conventionally cured provisional crown and bridge dental materials. Dent Mater. 2018; 34 (2): 192–200. PubMed PMID: 29110921.
15. Вокулова Ю. А., Жулев Е. Н. Сравнительная оценка экономического обоснования изготовления временных искусственных коронок, полученных с помощью традиционных и цифровых технологий. The Scientific Heritage. 2020; 47–2 (47): 3–6.

References

1. Apresyan SV. Optimizaciya vremennyh zubnyh protezov iz poliuretana [dissertaciya]. M., 2012. Russian.
2. Babunashvili GB. Kliniko-laboratornoe obosnovanie primeneniya materiala «Akrodent» dlya vremennyh zubnyh protezov [dissertaciya]. M., 2007. Russian.
3. Luckaya IK, Novak NV, Ershov-Pavlov P E. Primeniye vremennyh

- koronok na etape protezirovaniya zubov keramicheskimi konstrukcijami. *Sovremennaya stomatologiya*. 2017; 4 (69): 51–54. Russian.
4. YUmashev AV, Mihajlova MV, Kuderova IG, Kristal EA. Varianty ispol'zovaniya 3D skanirovaniya v ortopedicheskoj stomatologii. *Vestnik novyh medicinskih tekhnologij*. Elektronnoe izdanie. 2015; 1: 2–6. Russian.
 5. Evsejev EN. Obzor tekhnologij 3D-pechati. *Science Time*. 2017; 10 (46): 11–15. Russian.
 6. ZHulev EN. Sravnitel'naya ocenka razmernoj tochnosti iskusstvennyh koronok, izgotovlennyh s pomoshch'yu CAD/CAM sistemy i 3d PRINTERA po tekhnologii. *Vestnik novyh medicinskih tekhnologij*. Elektronnoe izdanie. 2020; 3: 40–45. Russian.
 7. Shnajder SD, Nurieva NS, YUrasov AD. Issledovaniya prochnosti i uprugosti na trekhtochecnyj izgib materialov vremennyh konstrukcij pryamym sposobom i koronok metodom 3d-pechati. *Stomatologicheskaya vesna v Belgorode — 2022: Sbornik trudov Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii v ramkah mezhdunarodnogo stomatologicheskogo festivalya «Ploshchadka bezopasnosti stomatologicheskogo pacienta», posvyashchennogo 100-letiyu Moskovskogo gosudarstvennogo mediko-stomatologicheskogo universiteta im. A. I. Evdokimova, Belgorod, 09 iyunya 2022 goda*. Belgorod: Belgorodskij gosudarstvennyj nacional'nyj issledovatel'skij universitet, 2022; s. 260–262. Russian.
 8. Tasin S, Ismatullaev A. Comparative evaluation of the effect of thermocycling on the mechanical properties of conventionally polymerized, CAD-CAM milled, and 3D-printed interim materials. *J Prosthet Dent*. 2022; 127: 173.e1–173.e8. PubMed PMID: 34756771.
 9. Mayer J, Stawarczyk B, Vogt K, Hickel R, Edelhoff D, Reymus M. Influence of cleaning methods after 3D printing on two-body wear and fracture load of resin-based temporary crown and bridge material. *Clin Oral Investig*. 2021; 25 (10): 5987–96. PubMed PMID: 33811531.
 10. Albahri R, Yoon HI, Lee JD, Yoon S, Lee SJ. Shear bond strength of provisional repair materials bonded to 3D printed resin. *J Dent Sci*. 2021; 16 (1): 261–7. PubMed PMID: 33384807.
 11. Alzahrani SJ, Hajjaj MS, Azhari AA, Ahmed WM, Yeslam HE, Carvalho RM. Mechanical properties of three-dimensional printed provisional resin materials for crown and fixed dental prosthesis: a systematic review. *Bioengineering*. 2023; 10 (6): 663. PubMed PMID: 37370594.
 12. Manjunath KS, Sridhar K, Gopinath V, Sankar K, Sundaram A, Gupta N, et al. Facile manufacturing of fused-deposition modeled composite scaffolds for tissue engineering—an embedding model with plasticity for incorporation of additives. *Biomed Mater*. 2020; 16 (1): 015028. PubMed PMID: 33331292.
 13. Myagmar G, Lee JH, Ahn JS, Yeo IL, Yoon HI, Han JS. Wear of 3D printed and CAD/CAM milled interim resin materials after chewing simulation. *J Adv Prosthodont*. 2021; 13 (3): 144–51. PMID: 34234924.
 14. Tahayeri A, Morgan M, Fugolin AP, Bompolaki D, Athirasala A, Pfeifer CS, et al. 3D printed versus conventionally cured provisional crown and bridge dental materials. *Dent Mater*. 2018; 34 (2): 192–200. PubMed PMID: 29110921.
 15. Vokulova YU. A., ZHulev E. N. Sravnitel'naya ocenka ekonomicheskogo obosnovaniya izgotovleniya vremennyh iskusstvennyh koronok, poluchennyh s pomoshch'yu tradicionnyh i cifrovyyh tekhnologij. *The Scientific Heritage*. 2020; 47–2 (47): 3–6.